HAL
open science

Etude de la faisabilité de l'évaluation de l'efficacité des mouvements de tracé du jeune apprenti-scripteur

Duval T., Remi C., Prevost L., Dorville A., Plamondon R.

To cite this version:

Duval T., Remi C., Prevost L., Dorville A., Plamondon R.. Etude de la faisabilité de l'évaluation de l'efficacité des mouvements de tracé du jeune apprenti-scripteur. IHM'14, 26e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Oct 2014, Lille, France. pp.29-37. hal-01089622

HAL Id: hal-01089622

https://hal.science/hal-01089622v1

Submitted on 2 Dec 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude de la faisabilité de l'évaluation de l'efficacité des mouvements de tracé du jeune apprenti-scripteur

DUVAL T. **REMI C.** **PREVOST L.**
LAMIA
97159, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe
tduval@etu.univ-ag.fr, cremi@univ-ag.fr , lprevost@univ-ag.fr,

DORVILLE A.
@comme @pprendre
97103, Guadeloupe
alin.dorvil@wanadoo.fr,

PLAMONDON R.
Scribens
6079, Montréal, Québec
rplamondon@polymtl.ca

RESUME
Nous définissons l'efficacité des mouvements de tracé comme la capacité à concilier des caractéristiques de rapidité, fluidité et régularité satisfaisant aux attentes des enseignements scolaires. L'équipe éducative en charge, dès l'entrée à l'école maternelle, de l'accompagnement de l'acquisition de l'écriture, ne dispose ni de moyens d'évaluation objectifs et fiables de l'efficacité des mouvements de tracé adaptés aux profils des très jeunes enfants, ni d'outils d'aide à la décision des exercices les plus appropriés pour renforcer et contrôler la progression de chaque enfant compte-tenu de son déjà-là psychomoteur notamment. Nous expliciterons en quoi les dispositifs interactifs d'entrainement graphomoteur orientés stylo sont inadaptés à constituer des aides à la décision et à l'accompagnement des acquisitions pour ces trois domaines. Nous vérifierons ensuite expérimentalement l'existence de pistes, à la fois d'un point de vue technologique et méthodologique, pour doter ces dispositifs de capacité d'évaluation de l'efficacité des mouvements de tracé du jeune apprenti-scripteur.

Mots Clés
Interaction orientée stylo ; Graphomotricité ; Analyse automatique de tracé acquis en ligne ; évaluation d'habiletés ; expérimentation ; interaction tri-partite ; efficacité des mouvements cursifs de tracé ; apprentissage de l'écriture; apprenti-scripteur.

ACM Classification Keywords
H5.2 [User Interfaces] Input devices and strategies – Evaluation/methodology; K.3.1 [Computer Uses in Education] Computer-assisted instruction (CAI) ; [I.5.4 Application] Signal processing

INTRODUCTION

Considérons les mouvements de tracé mis en œuvre par un enfant pour répondre aux sollicitations de l'enseignant. Ces mouvements conduisent à la production écrite de formes et d'enchaînements de formes qui doivent respecter les contraintes normatives scolaires. En conformité avec les préconisations de Lurcat [12] et les exigences du système éducatif français, ces mouvements doivent, de plus, présenter simultanément des caractéristiques de rapidité, fluidité et régularité répondant aux attentes de l'enseignant.

C'est la conjonction de ces trois critères d'efficacité qui garantit la constance de la qualité de la présentation et de la lisibilité des productions de l'écolier tout au long de ses multiples sollicitations journalières à l'écrit. Un niveau de performance insuffisant pour un ou plusieurs de ces trois critères induit à la longue de la crispation et de la fatigue. La persistance de cet état constitue une des sources d'inappétence pour les situations de productions écrites, voire orales. Elle peut à terme générer de la démotivation et un désintérêt pour les activités scolaires.

L'écriture cursive, sollicitée dans les situations d'apprentissage à l'école, est donc une compétence très complexe. L'acquisition d'un niveau de maitrise de celle-ci qui répondra aux attentes de l'Ecole nécessite un processus d'apprentissage long et complexe [23]. Ce processus vise à la mise en place de nombres de compétences motrices, instrumentales et cognitives.

Les compétences motrices englobent la motricité fine et la motricité globale. La motricité fine est liée aux mouvements engendrés par les petits muscles des doigts et des mains qu'on utilise pour des activités telles que l'écriture, le dessin ou la manipulation d'objets. La motricité globale est liée aux mouvements qui nécessitent les grandes masses musculaires quand on court, saute... Ces deux motricités jouent un rôle primordial dans la mise en place des gestes utiles à l'apprentissage de l'écriture car, elles permettent de maîtriser les notions d'espace et de temps [2]. Les compétences motrices visent à adopter la posture adéquate, à maîtriser la coordination œil-main pour le guidage visuel de la main et la coordination des membres supérieurs.

Les compétences instrumentales font référence aux connaissances relatives à son corps, sa latéralité, la notion d'espace (plan de la feuille et limites), de perception de formes et la notion de temps (rythme, vitesse et enchaînement de tâches). Ces compétences sont d'autant plus importantes que les enfants sont appelés à passer d'une écriture lente et précise à une écriture rapide et automatique [5] ; le processus d'automatisation agissant souvent sur la forme et engendrant une régression dans la précision [22].

Les compétences cognitives sont étroitement liées aux compétences intellectuelles des enfants. Elles regroupent la capacité de l'enfant à comprendre une consigne, exécuter une situation, mémoriser des

symboles et trajectoires et être attentif.

La majorité de ces compétences doit commencer à être développées dès la maternelle. Ceci, de sorte de faire évoluer les trois critères d'efficacité qui nous intéressent suffisamment pour les besoins de l'entrée à l'école primaire. Il n'existe pas de guide prédéfini à cette fin. Il s'agit d'adapter les activités et situations d'apprentissage à chacun en fonction de son *déjà-là*, ses aptitudes de départ.

Les enseignants, malgré la formation qu'ils reçoivent, sont souvent démunis au même titre que les parents, face aux enfants qui présentent des difficultés à réaliser des mouvements de tracé efficaces. En effet, ils n'arrivent pas forcément à discerner les compétences, non acquises ou mal acquises, qui rendent impossibles la mise en place d'une écriture efficace. Rappelons qu'une telle écriture présenterait les caractéristiques de rapidité, de fluidité, de régularité tout en respectant les contraintes de forme, de procédure d'enchainement et de bonne gestion de l'occupation de l'espace de tracé disponible. Quand bien même l'enseignant ou le parent parvient à identifier les pré-requis non encore acquis, il ne dispose pas forcément de méthode l'aidant à sélectionner rapidement les exercices à proposer. Il lui est de ce fait difficile d'établir un parcours progressif et adapté d'entrainement. Par ailleurs, il n'existe pas de données objectives et normatives sur les effets des exercices qui pourraient aider à décider de l'opportunité de répéter ou de changer de type d'exercice ou de niveau de difficulté.

Au cours des 30 dernières années, avec l'avènement de l'ère de l'informatique ubiquitaire, nombres de dispositifs ludo-éducatifs pour aider à l'apprentissage de l'écriture ont été créés. Dans ce domaine, nous nous intéressons aux dispositifs francophones interactifs d'entrainement graphomoteurs orientés stylo, que nous dénommerons dorénavant DIEGOS. Au même titre que les dispositifs classiques d'entrainement de la graphomotricité, les performances de ces DIEGOS ont fait l'objet d'évaluations, parfois comparatives. Celles-ci ont été réalisées soit par leurs usagers, soit par leurs concepteurs [17, 4, 9].

Dans cet article, les principes fondant les DIEGOS et leurs évaluations seront tout d'abord revus grâce notamment à la présentation de quatre d'entre eux. Les raisons pour lesquelles ces principes ne permettent pas aux DIEGOS de mieux répondre aux besoins d'aide à la décision, générés par l'accompagnement du processus d'acquisition d'une écriture efficace, seront alors explicitées. Ensuite, la méthodologie adoptée et certains des résultats préliminaires obtenus dans le cadre du projet « Y-a-t'il un co-pilote à bord ? » seront décrits. Nous verrons que ces résultats tendent à valider la faisabilité, grâce aux interfaces orientées stylo, de l'évaluation de l'efficacité des mouvements de tracé de très jeunes enfants. Nous terminerons par des conclusions et perspectives.

PRINCIPES ET EVALUATIONS DES DIEGOS

Il existe de nombreux dispositifs interactifs orientés stylos présentés comme ayant été conçus pour aider les enfants à apprendre à écrire. Nous nous sommes intéressés uniquement à ceux qui ont déjà fait l'objet d'évaluations et dont l'usage, compte-tenu des types d'activités qu'ils proposent, est, à notre avis, susceptible de renforcer l'efficacité des mouvements de tracé d'enfants de 3 à 6 ans du point de vue des quatre critères : de rapidité, de fluidité, de régularité et de gestion de l'occupation de l'espace de tracé.

Les concepteurs des DIEGOS recommandent leur usage sous le contrôle d'un adulte. Celui-ci joue à la fois les rôles :

- d'évaluateur des progrès réalisés,
- d'accompagnateur de l'apprenant durant son parcours d'entrainement. A ce titre il l'aide à choisir les exercices à pratiquer (si l'enfant le souhaite) et valorise ses progrès,
- de médiateur entre la machine et l'enfant, à ce titre, en cas de difficultés rencontrées par l'enfant, il lui appartient de débloquer techniquement la situation, voire de la dédramatiser.

Certains DIEGOS possèdent des versions dites grand public ou parents et d'autres qui sont destinées aux professionnels du système éducatif ou de santé tels que les enseignants, orthophonistes et ergothérapeutes. D'autres DIEGOS sont destinés au tout-venant, sans distinguo en termes de formation à l'accompagnement de l'apprentissage et de posture socio-affective par rapport à l'apprenant.

Nous présentons ci-dessous succinctement quatre de ces dispositifs francophones pour illustrer les caractéristiques générales communes aux DIEGOS.

Présentation d'exemples francophones de DIEGOS

Télémaque est un dispositif visuo-haptique interactif d'aide à l'apprentissage de l'écriture. Son interface permet à l'utilisateur d'interagir avec le monde virtuel via le sens du toucher, en générant des signaux mécaniques (force, vibrations, mouvements). Il fut créé pour apprendre aux enfants à partir de la 3ème année de maternelle (GS), soit à partir de 5 ans, à reproduire des lettres selon un modèle statique et dynamique dont les principes sont issus des travaux exposés dans [21]. Il est composé d'un stylo piloté par un bras-robot qui guide les trajectoires des enfants et applique des correctifs. Télémaque propose trois types d'exercices ayant pour objectif d'améliorer non seulement la perception visuelle des lettres mais aussi l'acte moteur qui doit être produit pour les écrire : le tracé dans un circuit, le tracé dynamique guidé par le bras robot des contours d'une lettre et la reconnaissance de lettres sans feedback visuel. Les travaux menés sur l'usage de Télémaque ont permis notamment d'observer, via la mesure du temps des mouvements de tracé et le comptage du nombre de levers de stylo, des progrès dans l'automatisation de l'écriture, d'améliorer la vitesse et la fluidité des mouvements de tracé de lettres des scripteurs de 5 ans et plus [18]. Cependant, parce-que le bras à retour d'effort Phantom est très coûteux et imposant, il est difficilement envisageable de faire de Télémaque un dispositif pédagogique aussi accessible que les stylos couramment utilisés à l'école.

Les tablettes, tactiles ou non, qui autorisent l'usage d'un stylet sont de plus en plus utilisées pour entraîner les enfants à apprendre à écrire. Dans la catégorie des

dispositifs utilisant ce type d'équipement matériel pour l'entrainement des gestes de tracé nous présentons les trois dispositifs suivants.

Le DIEGOS conçu par Jolly et Gentaz [8], consiste en une tablette tactile de type Cintiq de Wacom intégrée dans le support d'une table sur laquelle on écrit directement à l'aide d'un stylo adapté. Ce dispositif est piloté par un ordinateur. Les supports des activités pédagogiques d'entrainement du tracé de lettres sont conçus et présentés à l'aide du logiciel DidaPages. Ils intègrent des vidéos de démonstration du tracé des lettres qui permettent au scripteur de visualiser indéfiniment le tracé correct des lettres. Ces caractéristiques permettent à ce dispositif de proposer des situations interactives stimulantes qui favorisent chez l'enfant d'âge scolaire à la fois la motivation, la démarche autonome par essai-erreur de construction de scénarii d'apprentissage en bénéficiant de la possibilité d'analyse à son rythme de sa pratique de tracé en référence aux règles de tracé grâce à la possibilité de rejouer les vidéos montrant comment tracer. *Ces éléments sont* a priori plus propices à la progression des enfants d'âge scolaire comme le met en évidence l'étude menée par Jolly et Gentaz.

Scriptôt [19] est un logiciel destiné à piloter des activités pédagogiques de tracé avec un stylet sans pointe encreuse à réaliser sur un dispositif matériel tactile à encre électronique analogue à celui mis en jeu par Jolly et Gentaz. Scriptôt a été conçu pour aider les enfants de 5 à 8 ans du système scolaire québécois à apprendre à bien former, au sens des exigences de leurs enseignants, les caractères d'écriture lettres et chiffres. C'est un dispositif présenté comme autonome dans la mesure où il propose des corrections faisant intervenir des rétroactions visuelles pour indiquer les erreurs et vocales pour les énoncer pour les enfants ne sachant pas lire. Les modèles proposés et les règles de tracé de ceux-ci, de même que les types d'erreurs considérés ainsi les modalités de retour d'information sur celles-ci sont paramétrables par l'enseignant.

Toutaki est un dispositif pensé par des chercheurs de l'INRIA avec le concours d'un ergothérapeute et la société Evodia devenue depuis ScriPt & Go [20].

Bien qu'il soit optimisé pour un usage sur tablette tactile avec le doigt ou le stylet, Toutaki se prête également à un usage sur tablettes graphiques électromagnétiques, sur support papier classique avec un stylo numérique connecté à un ordinateur et sur tableau blanc interactif. Selon ses concepteurs, Toutaki est destiné à accompagner l'enfant de 3 à 8 ans dans l'apprentissage de l'écriture. A cette fin, il propose les trois types d'activités suivants :

- du dessin et du coloriage libres qui permettent à l'enfant de se familiariser à la fois avec l'environnement Toutaki d'entrainement et la forme des lettres,
- la découverte des mouvements justes de tracé isolé de chacune des lettres de l'alphabet, inspirés des pratiques en ergothérapie,
- l'exercice de tracé cursif de mots qui vise à l'apprentissage du respect des pauses naturelles indispensable à l'acquisition d'une écriture efficace ?

Ces différents exercices peuvent être exploités de manière complémentaires au cours d'un parcours pédagogiques progressif qui doit être pensé par l'adulte accompagnateur.

Pour conclure, les différents outils présentés intègrent des activités permettant d'exercer la capacité de l'enfant à :

- reconnaitre les lettres
- respecter les formes de signes alphanumériques et leur ductus lors de leur tracé
- relier les lettres cursives entre elles conformément aux normes en la matière
- bien placer les lettres et les mots dans les réglures Séyès.

En revanche, ils ne proposent aucune activité dédiée explicitement à l'entrainement de la rapidité, de la fluidité ou de la régularité des mouvements de tracé. Il appartient donc à l'usager d'identifier les aspects de la mise en œuvre de ces dispositifs qui peuvent constituer un entrainement pour chacun de ces trois critères.

Analyse des processus d'évaluation des DIEGOS

L'étude des modalités et des conclusions des évaluations de DIEGOS que nous avons pu relever nous a conduit aux constats suivants.

Les évaluations menées pour établir les performances des DIEGOS se fondent essentiellement sur des protocoles mettant en jeu des activités qui nécessitent des pré-requis en analyse (désignation, appariement, repérage de symboles alphabétiques,..), et/ou production de langage écrit (tracé dans un laps de temps de lettres isolées, de mots ou de phrases,..). Bien que les conditions d'utilisation ne mentionnent qu'une tranche d'âge pour le public cible, notons que ce premier constat induit que, pour que l'usage d'un DIEGOS soit pertinent pour accompagner un enfant, il faut que celui-ci soit déjà *entré* dans le système du langage écrit francophone en plus d'avoir un âge conforme aux conditions d'utilisation. Dans le cas contraire cet usage peut être une source supplémentaire de difficultés.

La modalité d'écriture considérée pour justifier de l'intérêt et des performances des DIEGOS est quasi-exclusivement cursive. Ceci peut s'expliquer par le fait que dans le système éducatif français l'écriture cursive est la modalité d'expression écrite sollicitée et exigée par l'école dès lors que l'enfant accède au cours préparatoire (CP) de l'école primaire.

Les informations issues des évaluations des DIEGOS ne permettent pas aux acteurs du système éducatif de comparer sur des bases claires, objectives car normées, l'apport de l'usage des divers DIEGOS pour le développement de chacun des trois critères de vitesse, fluidité et régularité par rapport à une approche non médiée par ceux-ci. Il peut donc être difficile de décider du meilleur choix de dispositif à utiliser en fonction du profil et des besoins de l'enfant.

Ce dernier constat peut s'expliquer en partie par le fait que les connaissances ainsi que les travaux expérimentaux visant à caractériser et valider des

gradations, pertinentes pour l'école, du niveau d'efficacité de l'acte moteur pour chacun de ces 3 critères sont d'autant moins nombreux que le public à considérer est jeune.

Bilan de l'étude des DIEGOS

Les possibilités offertes par ces quelques exemples d'interfaces francophones d'aide à l'apprentissage de l'écriture cursive témoignent de l'intérêt et des progrès en matière d'exploitation des modalités d'interaction orientées stylo pour l'aide à l'apprentissage de l'écriture cursive.

L'atout primordial de ces DIEGOS réside dans le couplage des possibilités de capture d'information sur l'activité de tracé et des capacités de traitement automatique. Ce couplage en fait des moyens propices à la capture et l'évaluation transparente, objective, rapide et relativement aisée d'aspects qu'il est difficile voire impossible d'appréhender pour l'humain même en observant de manière continue l'activité graphomotrice de production écrite. Il en est ainsi de la vitesse de tracé, de la pression mise en œuvre lors du déplacement du stylo pour tracer, de la fluidité et de la régularité des mouvements notamment. Ces informations sont utiles à la fois pour caractériser et suivre les progrès de l'enfant pour chaque critère qui contribue à l'émergence d'une écriture de plus en plus efficace et non plus seulement pour les critères reflétant la connaissance des contraintes normatives de l'écriture cursive et la capacité de l'enfant à les respecter. La prise en compte de ces critères qui déterminent l'efficacité des mouvements de tracé n'est cependant actuellement pas réalisée par les DIEGOS alors qu'elle pourrait aider à :

- appréhender plus finement la nature des difficultés auxquelles l'enfant peut être confronté,
- mieux calibrer et cibler les exercices d'entrainement à proposer à l'enfant.

A notre connaissance, il n'existe aucun DIEGOS qui permette d'adapter automatiquement et en temps réel :

- son comportement en termes de tâches, de niveau de complexité de ces tâches ou de parcours proposés,
- la nature des retours d'information qu'il produit au profil de ses utilisateurs, qu'il s'agisse en l'occurrence de l'adulte médiateur - enseignant ou parent - ou de l'enfant.

Nous expliquons cela par le fait que ces DIEGOS n'exploitent ni de profil générique ni ne construisent de profil individuel du processus de mise en place des compétences graphomotrices, instrumentales et cognitives mises en jeu par les scripteurs pour apprendre à écrire.

Ces outils présentent par ailleurs d'autres limites qui réduisent à notre avis leur efficacité dans une perspective d'accompagnement réellement adapté au profil de l'apprenti scripteur de 3 à 6 ans et au contexte coopératif enseignant-parent-enfant du processus de préparation à l'apprentissage de l'écriture qui est préconisé par [2]. Par exemple, pour Scriptôt, certaines contraintes peuvent surgir des rétroactions. Les rétroactions vocales « ta lettre dépasse le trottoir du haut » où « cette partie de ta lettre devrait finir plus à droite » [9] supposent que l'écriture est une forme figée basée sur un modèle type, non personnalisable. La minutie et la précision des critères qualitatifs exigées par certaines rétroactions, peuvent engendrer une écriture lente et non fluide.

Revenons sur le constat selon lequel ces dispositifs interactifs pourtant dédiés à l'apprentissage de l'écriture chez les jeunes apprenti-scripteurs n'exploitent ni ne proposent de méthodes et de données de positionnement des performances de ces derniers du point de vue des critères de fluidité, régularité et rapidité des mouvements de tracé. Or, rappelons que Lurcat [11,12] préconise qu'avant toute initiation à l'écriture proprement dite, un des premiers objectifs à poursuivre dans le cadre de l'entrainement graphomoteur - notamment lorsqu'il s'agit des enfants de maternelle - est le renforcement des capacités relevant de ces trois aspects. En fait, dès lors que les critères de qualité visuelles (forme voire taille et positionnement par rapport aux repères figurant dans l'espace de tracé) et procédurales (ordre de tracé, localisation des points de lever par rapport aux positions de référence prédéfinies par le modèle proposé, etc) sont satisfaites, de manière analogue à ce que peut faire un médiateur humain, les DIEGOS actuels considèrent que l'activité de tracé est satisfaisante et ne sollicitent pas de nouvel essai d'un niveau d'exigence analogue ou moindre à l'apprenti-scripteur. Or, non seulement les exigences de performances à l'écrit posées notamment par l'école englobent bien plus que ces seuls critères de qualité visuelle et procédurale mais de plus, d'un point de vue didactique, selon le principe explicité dans [6], en cas d'échec de l'enfant à exécuter correctement une tâche d'un niveau de complexité donné, il convient de lui demander de nouveau de réaliser une tâche de niveau analogue ou d'un niveau de difficulté juste en deçà pour renforcer la stabilité de son niveau actuel de compétence pour l'aspect considéré.

LE PROJET «Y A-T-IL UN COPILOTE A BORD?»

Il est établi que des dimensions (degré de maturation et contexte) socio-affectives et neuromusculaires peuvent modifier la rapidité, la fluidité et la régularité des mouvements [23]. La scolarisation à l'école maternelle et les activités graphiques qui y sont classiquement proposées induisent-elles un gain significatif en termes d'efficacité des mouvements d'écriture et plus spécifiquement en termes de rapidité, de fluidité et de régularité ? Est-il possible de renforcer significativement l'éventuel gain qui peut être observé pour chacun de ces aspects à l'issue de la période de scolarisation à la maternelle ? Si oui, est-ce que le choix de méthodes d'entrainement adaptées et bien ciblées par rapport au déjà-là de l'enfant constitue un facteur d'amélioration? Comment évaluer le déjà-là ou les acquis d'un enfant pour chacun des trois critères de rapidité, de leu fluidité et de régularité ?

Le projet « Y a-t'il un copilote à bord ? » vise à déterminer les voies et moyens opérationnels pour répondre à toutes ces questions dans le contexte du système scolaire de Guadeloupe. Une première recherche-action a débuté en 2012 avec le concours d'écoles de l'académie de Guadeloupe. Elle avait pour objet la conduite d'expérimentations en milieu scolaire

et la constitution de banques de données nécessaires aux études exploratoires à mener pour répondre aux questions précédentes. Le système d'analyse des mouvements de tracés et les types d'activités de tracé pour lesquels ceux-ci furent recueillis, les participants à l'expérimentation, les phases et protocoles expérimentaux ainsi que les modalités d'extraction des indicateurs étudiés sont décrits dans les sections suivantes.

Système d'analyse automatique des mouvements

Il comporte deux logiciels : Script-studio et Dékat'Tras. Ce système permet le calcul d'indices relevant des domaines spatio-temporels, cinématiques et dynamiques, etc. Le calcul est réalisé sur les données d'entrée du système d'analyse des mouvements qui sont acquises en temps réel grâce à une tablette Wacom Intuos IV.

Figure 1 : configuration physique du poste physique d'acquisition en ligne des tracés des enfants dans l'école.

Ces données spécifient la trajectoire de la pointe du stylo sur la surface de tracé et la pression exercée par celui-ci. Elles sont échantillonnées par la tablette Wacom avec une fréquence de 200Hz puis transmises à l'ordinateur portable pilotant leur lecture et leur enregistrement en ligne dans un fichier grâce au module d'acquisition de Dékat'Tras. La figure 1 présente le dispositif matériel d'acquisition du système. Le logiciel Script-studio se fonde sur la théorie cinématique qui décrit une unité de mouvement comme l'action synergique d'un réseau neuro musculaire agoniste et antagoniste [13]. Script-studio permet l'analyse et la synthèse de l'écriture manuscrite et des signatures grâce à la mise en œuvre d'algorithmes de modélisation des mouvements de tracé. Dans le mode analyse que nous exploitons, il fournit en sortie 6*nbLog+2 valeurs numériques. Il s'agit d'une suite de nbLog 6-uples de paramètres lognormaux $(t_{0i}, D_i, \mu_i, \sigma_i, \theta_{di}, \theta_{fi})$. Chacun de ces 6-uples décrit une des fonctions identifiées par Script-studio qui permet l'estimation sigma-lognormale de la vitesse tangentielle en chaque point de tracé avec une incertitude fonction de la valeur estimée en dB du rapport signal sur bruit notée SNR.

Dékat'Tras permet d'acquérir des tracés en ligne au moyen de tablettes à stylo, tactiles ou non, de visualiser le tracé et son historique selon divers modes, d'enregistrer les données spatio-temporelles codant la localisation de la pointe du stylo ainsi que la pression exercée au cours du temps et la trace résultant du tracé sous forme d'image vectorielle, de produire des descriptions en ligne réduites du tracé à l'aide de fonction paramétriques simples (segments de droite, arcs de cercle), d'importer ou d'exporter des tracés et de convertir différents formats de fichiers et de calculer de nombreux indices.

Types d'activité de tracé

Trois types d'activités usuelles furent considérés :

- le gribouillage, un des premiers actes *naturel* de tracé du jeune enfant [10] qui n'est généralement pas utilisé par l'école. Il fut proposé aux enfants selon 5 modalités différentes (spontané, puis composés de traits droits juxtaposés puis de courbes continues à allure lente puis rapide),
- le tracé cursif (sans lever le stylo) entre deux cibles, impliquant la mise en œuvre de mouvements types (passer au-dessus, contourner, croiser, tourner au-dessus, monter, descendre, boucler, etc.) enseignés par l'école maternelle à l'enfant dès ses premières activités graphiques. Deux contraintes étaient introduites pour l'exécution de ces mouvements de tracés cursifs : ils devaient être réalisés le plus vite possible, en respectant le sens d'écriture cursive (de la gauche vers la droite) entre un point de départ et un autre d'arrivée matérialisés sur la feuille de tracé. De plus, deux distances d'écart entre les cibles étaient proposées pour l'étude de l'influence de l'amplitude des mouvements à réaliser.
- le tracé cursif dans des gabarits de lettres cursives, cette activité étant également proposée à la fois par l'école et nombre des DIEGOS. Ce type d'activité mettait en jeu des contraintes de précision et d'amplitude des mouvements grâce à deux épaisseurs et tailles des gabarits.

Des exemples de tracés résultant de ces trois types d'activité sont illustrés par la figure 2.

Participants

Les parents de soixante et onze enfants sur les cent vingt huit que compte l'école ont donné leur accord pour le recueil au moyen de la tablette graphique et la conservation pour les besoins de nos études des productions scripturales et écrites de leurs enfants. Ces enfants participants se répartissent comme suit. Vint-cinq sont en Petite section PS. Ils ont entre 3 et 4 ans et n'ont connu qu'une année de scolarisation à l'école maternelle. Seize, âgés de 4 à 5 ans sont en Moyenne section, MS. Ils ont déjà suivi deux années de scolarité. Trente sont scolarisés en Grande section GS de maternelle et n'ont jamais redoublé. Ils sont âgés de 5 à 6 ans et ont déjà bénéficié de 3 ans d'enseignement.

Phases de l'expérimentation en milieu scolaire

Cette première expérimentation en milieu scolaire a comporté neuf phases dont les descriptions, buts, et guides sont résumés dans le tableau 1. Le protocole expérimental de la première passation sur tablette (phase 4) diffère de celui des suivantes (phases 5 et 7).

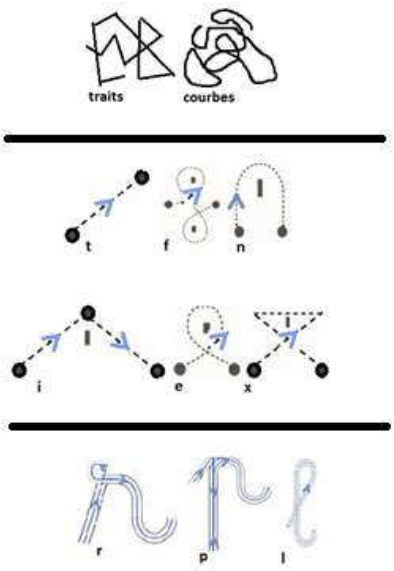


Figure 2 : illustrations des types de traces résultant des mouvements de tracé à invoquer pour chacun des types d'activité considérés. Cas du gribouillage, du tracé cursif entre 2 cibles, puis dans des gabarits, rangés du haut vers le bas séparés par des lignes horizontales.

27 élèves de GS, 17 de MS et 22 de PS ont participé au recueil de tracé sur la tablette pour la phase 4 qui s'est tenue en mars. Au final, 308 tracés ont été collectés pour l'activité gribouillage, 1280 pour l'activité d'exécution de mouvements de tracé cursifs reliant deux cibles et 336 pour celle de tracé cursif dans un gabarit. Pour l'activité d'exécution de mouvements de tracé cursifs reliant deux cibles, chacun des 6 mouvements de tracé présentés à la figure 2 devait être exécuté 3 fois pour chacune des 2 amplitudes. Lors de la phase 5 nous avons choisi de ne faire tracer que 5 enfants de chacun des 3 niveaux PS, MS et GS, identifiés comme bons scripteurs à partir des données déjà collectées. Ces enfants, ont exécuté des tracés pour chacun de 3 types d'activité sur la tablette.
Cependant pour l'activité d'exécution de mouvements de tracé cursifs reliant deux cibles, c'est la réalisation de 30 répétitions de chacun des mouvements de tracé « t » et « n » qui a été demandée à chaque enfant pour chaque amplitude considérée en lieu et place des 3 répétitions de chacun des 6 types de mouvements de tracé pour chacune des amplitudes.
Seuls 23 élèves de GS, 12 de MS et 4 de PS ont participé au recueil de tracé sur la tablette pour la phase 7 qui s'est déroulée mi-juin. Pour l'activité d'exécution de mouvements de tracé cursifs reliant deux cibles c'est la même demande que pour la phase 5 qui a été faite aux enfants.

Modalités de collecte des indicateurs étudiés

Lors de la réalisation de chaque type d'activité, il était demandé à l'enfant de commencer chacun des tracés dès l'émission d'un signal auditif de départ. Ce signal était émis de manière aléatoire par le module d'acquisition de tracé de Dékat'Tras.

Description et but des phases	Support de tracé	Médiateur
1. Saisie de l'anamnèse et évaluation initiale de l'appétence et des performances en écriture et graphisme	aucun	Enseignant
2. Dessins d'un bonhomme puis d'une maison à côté d'un arbre et d'un soleil dans le ciel pour le positionnement initial des aptitudes cognitives et graphomotrices de l'enfant	Papier	Enseignant
3. Préparation sur la tablette aux 3 types d'activités réalisée sans feedback visuel au doigt.	aucun	Enseignant
4. 1ère passation des 3 types d'activité de tracé	Tablette	Opérateur
5. 2ème passation des 3 types d'activité de tracé	Tablette	Opérateur
6. Entrainement des types de mouvements nécessaires à chacun des 3 types d'activité de tracé	aucun	Parent
7. 3ème passation des 3 types d'activité de tracé	Tablette	Opérateur
8. Dessins du bonhomme puis de la maison pour le positionnement final des aptitudes cognitives et graphomotrices	Papier	Enseignant
9. Evaluation finale de l'appétence et performances en écriture et graphisme.	aucun	Enseignant

Tableau 1 : descriptifs des 9 phases de l'expérimentation

A compter du début du tracé et jusqu'à ce que l'enfant ait levé sont stylo et informé l'expérimentateur de la fin de la tâche de tracé qu'il lui avait été confiée, l'ensemble des points de la trajectoire du stylo, l'état du stylo, posé ou levé, en ces points acquis par la tablette ainsi que le nombre de millisecondes écoulées et la pression exercée sur le stylo étaient à la fois affichés à l'écran pour contrôle par l'expérimentateur et enregistrés dans un fichier.
Pour chaque tracé acquis, une phase d'extraction des indicateurs était opérée grâce au système d'analyse automatique des mouvements de tracé décrit précédemment. Cette phase consistait à calculer et enregistrer les valeurs des indicateurs suivants [7] :

- le rapport signal sur bruit, SNR, mesurant la qualité de la reconstruction sigma-lognormale du tracé ;
- le nombre d'unités fondamentales de mouvement utilisé pour reconstruire le tracé nbLog ;
- la valeur de l'indicateur de fluidité du mouvement défini par le rapport SNR/nbLog ;
- la distance totale parcourue au sens neuromusculaire $\sum D_i$;
- la moyenne des temps de délai logarithmique du système neuromusculaire $\frac{\sum \mu_i}{n}$;

- la moyenne des temps de réponse logarithmique du système neuromusculaire $\frac{\Sigma\sigma_i}{n}$;
- t_{01}, le temps de délai logarithmique du système neuromusculaire ;
- la durée totale du tracé (en secondes) ;
- le temps de posé (en seconde) où le stylo est resté en contact avec la tablette ;
- le temps de levé (en seconde) ou le stylo n'était plus en contact avec la tablette au cours du tracé ;
- la longueur totale de la trajectoire du stylo (en cm) ;
- la vitesse moyenne de déplacement du stylo sur la surface de tracé (en cm/s) ;
- la pression moyenne exercée sur le stylo
- le nombre de pics de vitesse.

ETUDE PRELIMINAIRE

Hypothèses et méthodologie

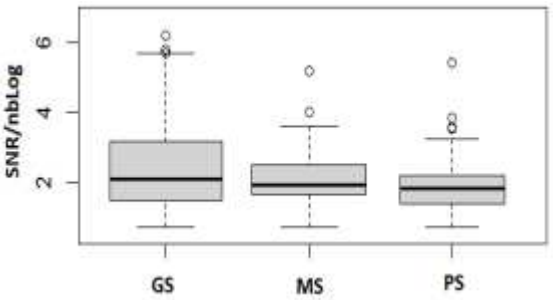
Les travaux de Bala et al. [1] ont montré que l'effet des activités proposées par l'école maternelle sur le niveau de préparation à l'entrée à l'école primaire et sur les habiletés motrices des élèves est d'autant plus important que la période de scolarisation à la maternelle a été longue. Afin de déterminer dans quelle mesure ce phénomène était vérifié pour ce qui est des aspects vitesse, fluidité et régularité reflétant le degré d'efficacité de l'écriture, nous avons entrepris des analyses statistiques préliminaires. Celles-ci furent réalisées en exploitant les tracés enregistrés lors des phases 4 et 5 de l'expérimentation. Elles visaient à :

- établir l'intérêt potentiel des indicateurs dérivant de la modélisation sigma-lognormale, cette méthode n'ayant jamais été exploitée auparavant pour décrire ou analyser les tracés de scripteurs aussi jeunes que les enfants ayant participé à notre expérimentation ;
- identifier un jeu d'indicateurs rendant compte de la rapidité, de la fluidité et de la régularité des mouvements de tracé et à déterminer s'il permettrait de discriminer les différentes classes de scripteurs GS, MS et PS ;
- tenter de caractériser à la fois le niveau de difficulté et l'intérêt des nombreux exercices de tracé que comportait le protocole expérimental initial.

Pour obtenir des éléments de réponse concernant ces différents points, compte-tenu des effectifs relativement faibles de nos groupes, des tests non paramétriques de Mann-Withney et de Kruskall Wallis ont été réalisés en utilisant les classes de scripteurs comme variables inter-groupes.

Enseignements issus de l'usage de Script-Studio

Les deux premières campagnes de recueil réalisées sur les tablettes lors des phases 4 et 5 nous permirent de confirmer que le modèle Sigma lognormal, employé pour synthétiser les mouvements rapides de l'adulte [15, 16], peut synthétiser les mouvements de scripteurs de maternelle avec une bonne qualité bien que ces derniers écrivent lentement. En effet, le SNR permettant d'évaluer la qualité des reconstruction des tracés des enfants par le modèle Sigma lognormal, indiqua que pour la première banque de données issue de la phase 4 (respectivement la seconde banque de données issue de la phase 5) 87% (respectivement 89%) des tracés sont reconstruits avec une bonne qualité (SNR ≥ 20dB). De plus, ce modèle offre des paramètres lognormaux pouvant discriminer des classes de jeunes scripteurs tels que la variable SNR/nbLog qui mesure la capacité des scripteurs à contrôler leurs mouvements [14]. La figure 3 présente les résultats du test de Mann-Whitney et met en évidence une différence significative entre les 3 classes de scripteurs ($p < 0,001$). Le Test de Kruskall Wallis sur les classes comparées deux à deux, vient approfondir cette analyse. Il atteste de l'existence d'une différence significative entre GS et PS ($p < 0.001$), MS



et PS ($p = 0.013$) mais pas entre GS et MS ($p=0.122$).

Figure 3 : répartition du SNR/nbLog pour les mouvements de tracés de type p de la 2ème banque de données.

Ainsi ce modèle est donc capable de s'adapter, de modéliser et reconstruire tout type d'écriture lente et/ou rapide. Il peut être exploité pour contribuer à la recherche des caractéristiques des différents paliers intervenant dans la mise en place du programme moteur en maternelle. Ce paramètre corrobore les observations que les pédagogues s'attendent à observer dans les classes de maternelle. A savoir que plus les enfants progressent dans l'apprentissage de l'écriture, plus ils améliorent leur capacité de contrôle de leurs mouvements.

Enseignements fournis par l'usage de Dékat'Tras

Les paramètres cinématiques usuellement employés dans la littérature pour l'étude des tracés scripturaux des enfants sont automatiquement calculés par Dékat'Tras. Les tests de discrimination inter-groupes précédents ont été effectués sur la première banque de donnée et ont révélés l'existence de variables discriminantes inter-groupes (figure 4).

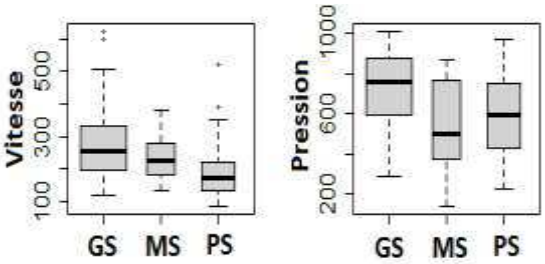


Figure 4 : répartition de la vitesse et de la pression pour les *mouvements de* tracés de *type n* de la 1ère banque de données.

Les tests de Mann Whitney révèlent une différence significative de la vitesse moyenne entre les trois Classes de scripteurs ($p<0.001$), mais, le test de Kruskall Wallis indique que cette différence présente entre GS et PS, MS et PS ($p<0.001$) et n'existe pas entre MS et GS ($p=0.18$) .

Dans d'autres cas, les tests de Mann Whitney révèlent une différence significative de la vitesse moyenne entre les trois classes de scripteurs ($p<0.001$), mais, le test de Kruskall Wallis indique que cette différence présente entre GS et MS, GS et PS ($p<0.001$) et n'existe pas entre MS et PS ($p=0.348$).

Nous pouvons observer que, plus les enfants progressent dans leur apprentissage de l'écriture et plus rapides sont leurs productions. Les GS sont plus habiles que les MS-PS et plus aptes à maîtriser les consignes alliant vitesse et précision. La pression moyenne augmente pendant l'apprentissage. Nous émettons l'hypothèse que c'est dû à la capacité des GS à bien tenir l'outil scripteur et à leur incapacité à savoir déplacer leur outil scripteur tout en maintenant une bonne tenue de celui-ci.

Discussion

Travailler avec des enfants de maternelle nécessite beaucoup de temps pour les familiariser avec l'outil scripteur dépourvu de feedback visuel mais aussi les mettre en confiance en les encourageant même quand ils ne font pas la tâche demandée. Cette première expérimentation, bien qu'elle ne nous ait pas encore livré tous les enseignements concernant les questions posées, nous a déjà permis de constater que, pour identifier des profils de scripteur en maternelle en recueillant des tracés depuis une tablette numérique, il est préférable de recueillir un nombre important d'essais par enfant,10 à 15 à minima. En effet, dans le cas de la phase 4 ayant fait intervenir le principe du recueil de trois essais par enfant, nous avons pu observer que les caractéristiques des productions des enfants pouvaient fortement différer de façon aléatoire.

Toutefois, en considérant les tracés des classes d'individus, les données extraites sur les tracés acquis lors de la phase 4 nous ont permis d'émettre l'hypothèse qu'il existerait en maternelle deux grandes classes de scripteurs, les scripteurs de niveau PS ne maîtrisant pas leurs gestes scripturaux et les scripteurs de niveaux GS plus expérimentés dans la maîtrise de leurs gestes scripturaux. Nous émettons l'hypothèse sur la base d'une étude approfondie que nous avons menée d'indicateurs ayant trait à la régularité, la vitesse et la fluidité des mouvements que les scripteurs de niveaux MS seraient dans une phase transitoire. Certains maîtrisent des aptitudes graphomotrices de niveau GS et sont donc, de ces points de vue, d'un niveau GS. D'autres ne les maîtrisent pas et ont alors un niveau PS pour ces aptitudes liées à l'efficacité de leurs mouvements de tracé.

Les interfaces que nous utilisons nous permettent d'obtenir des indicateurs qui peuvent être utilisés pour caractériser la mise en place des capacités motrices des enfants dès la maternelle. Un travail de sélection d'un certain nombre de variables à observer pendant les acquisitions est en cours pour faire de nos hypothèses visant à suggérer des explications aux tendances observées, des affirmations. Ces variables relèvent des compétences instrumentales et cognitives.

En effet, des paramètres posturaux peuvent fortement influencer la mise en place de pré-requis nécessaires à l'apprentissage de l'écriture : tenue du crayon, mais aussi position du dos sur la chaise, des pieds sur le sol, de la main qui n'écrit pas sur la feuille.

La latéralité est également un facteur important car, certains enfants gauchers pendant les acquisitions écrivaient avec leurs deux mains. Même en GS, ils n'avaient pas encore choisi leur main dominante. D'autres facteurs relatifs à la compréhension de la consigne pourraient expliquer des échecs à effectuer certaines tâches des protocoles. En effet, certains enfants disaient avoir compris la consigne, et même après plusieurs explications ne pouvaient pas reproduire cette dernière quand la complexité de la tâche demandée augmentait.

Ainsi il nous faudra poser et quantifier ces paramètres supplémentaires pour les intégrer dans nos interfaces pour les banques de données à venir. Sur ces connaissances nous pourrons adapter l'interface que nous voulons créer visant à mettre en place les pré-requis à l'apprentissage de l'écriture.

CONCLUSION

Nous avons explicité pourquoi il est essentiel d'appréhender l'efficacité de l'acte moteur d'écrire non pas seulement à partir de la qualité visuelle des formes composant la trace laissée et de sa structuration spatio-temporelle mais également et surtout à partir de sa dynamique. Les 3 critères qui, à notre avis, permettraient de caractériser de manière satisfaisante pour les besoins de l'école l'efficacité de la dynamique d'écriture sont : la vitesse, la fluidité et la régularité des mouvements de tracé.

Nous avons justifié l'impossibilité actuelle pour les DIEGOS de constituer un moyen d'évaluation, de positionnement, ou d'entrainement des aptitudes pour chacune de ces 3 dimensions par le fait que leur conception n'a pas été fondée sur la nécessité d'une prise en compte simultanée : d'une définition multidimensionnelle de l'efficacité en écriture et du caractère dynamique de l'acte d'écrire. De plus, notre étude des approches d'évaluation des performances des DIEGOS nous a permis de mettre en exergue le fait que : le choix d'un DIEGOS, comme médium d'acquisition des pré-requis nécessaires à l'apprentissage de l'acte d'écrire, demeure tout aussi difficile que celui d'une approche n'exploitant pas le numérique et les interfaces orientés stylo. Ceci s'explique à notre avis à la fois : par l'inexistence d'un cadre objectivé et normatif de positionnement des aptitudes d'ordre dynamique pour les très jeunes apprentis scripteurs et par le défaut d'outils et d'une méthodologie autorisant une évaluation dans un cadre unifié, objectivé et normé.

Le projet de recherche-action en milieu scolaire « y a-t-il un copilote à bord ? » a été initié pour contribuer à combler ces carences en termes d'outil et de cadre. La première expérimentation menée dans une école a permis la constitution de trois banques de données.

L'étude préliminaire des tracés des deux premières banques créées nous a d'ores et déjà permis :

- de conforter l'intérêt de la modalité d'interaction orientée stylo, des possibilités de traitement et d'extraction d'indicateurs de chacun des logiciels Script-Studio et Dékat'Tras constitutifs de notre système d'analyse automatique de la dynamique d'écriture, d'indicateurs extraits par notre système pour caractériser et discriminer les niveaux d'efficacité des enfants en fonction de leur niveau scolaire. Cela constitue un premier indice de la faisabilité à la fois technologique et méthodologique de l'évaluation de l'efficacité des mouvements de tracé qui fait actuellement défaut à l'école faute de moyens adaptés pour l'envisager.
- de mettre en évidence la nécessité de tenir compte, dès la conception des DIEGOS, à la fois de la multi-dimensionnalité de la compétence en écriture et de celle du processus de son acquisition, qui comme tout processus d'apprentissage est, selon les principes énoncés par Vygotsky, profondément social.

Ce dernier point nous obligera à questionner également de manière plus approfondie et ciblée lors des expérimentations prochaines dans les écoles à la fois le rôle et l'apport de l'introduction :

- de modalités de capture d'informations sur l'acte d'écrire et celui d'apprendre à écrire complémentaires à celles accessibles via l'usage du stylo et de surfaces sensibles à la pression ;
- de nouveaux principes d'interaction tri-partites qui tiendraient mieux compte de l'apport et du déjà-là ou profil de chaque type d'acteur (adulte, machine, enfant) dans les processus nécessaires à l'acquisition d'une écriture efficace pour mieux penser la répartition des rôles et tâches entres ces derniers.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les enfants ayant participé aux expérimentations, leurs parents, l'équipe éducative de l'école ainsi que les inspecteurs de l'académie de Guadeloupe.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bala, G., Krneta, ž., Katić, R. Effects of Kindergarten Period on School Readiness and Motor Abilities, *Collegium Antropologicum, Supplement* 1, Vol. 34, (2010), p61.
2. Ballouard C., L'aide mémoire: Psychomotricité, 25 notions clés, Dunod, Paris, 2008.
3. Bernard F-X. L'impact cognitif des dispositifs médiatiques sur les enfants d'âge préscolaire en situation d'apprentissage avec un adulte. Etude de cas de simulateur informatique dans le contexte d'une exposition scientifique. Thèse doctorat, Univ. Paris 5, 2006
4. Bouclc'h L., Bernard F-X., Idrac-Fraisse A-C., Impact d'un entraînement avec tablettes tactiles sur la mémorisation de la forme des lettres et du geste d'écriture en moyenne section de maternelle, *JOCAIR'14*, Paris, 14pp. http://eda.shs.univ-paris5.fr/jocair_2014/atelier_2/Boulch-Bernard-Idrac.pdf
5. Chartrel, E., & Vinter, A., L'écriture : Une activité longue et complexe à acquérir. *Approche Neuropsychologique de l'Apprentissage chez l'Enfant*, 78, (2004), 174-180.
6. Dorville, A. & Rémi, C., (2008), Bâtir l'Ecriture, un outil pour l'évaluation du savoir écrire de base. *ADMEE'08,* Suisse, https://plone.unige.ch/sites/admee08/communications-individuelles/j-a5/j-a5-3
7. Duval, T, Remi C. & Plamondon R., On the Use of the Sigma-Lognormal Model to Study Children Handwriting. In Proc *IGS'13*, Japan, (2013), 26-29.
8. Jolly, C & Gentaz, E (2013). Évaluation des effets d'entrainements avec tablette tactile destinés à favorise l'écriture de lettres cursives chez des enfants de Cours Préparatoire. *Sticef, vol. 20*, http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2013/02-jolly-atame/sticef_2013_NS_jolly_02.htm
9. Leclerc, M.-C., Robert, J.-M., Evaluation des rétroactions données par un logiciel d'aide à l'apprentissage de l'écriture manuscrite, In Proc. *SELF-ACE'01*, Vol. 4, 2001.
10. Lurçat, L. Etudes de l'acte graphique. Mouton, Paris, 1974.
11. Lurçat, L. L'activité graphique à l'école maternelle, ESF, Paris, 1980.
12. Lurçat, L. Le graphisme et l'écriture chez l'enfant. *Revue française de pédagogie*. Volume 65, (1983), 7-18.
13. Palluel-Germain, R., Bara, F., Hillairet de Boisferon, A., Hennion, B., Gouagout, P. & Gentaz, E. (2006). Early handwriting acquisition : Evaluation of Telemaque, a new visuo-haptic interface. In Proc. *EuroHaptics'06*, (2006), 551-554.
14. Palluel-Germain, R., Bara, F., Hillairet de Boisferon, A., Hennion, B., Gouagout, P. & Gentaz, E. A visuo-haptic device - Telemaque - increases the kindergarten children's handwriting acquisition. In Proc. *WorldHaptics*,'07, IEEE (2007), 72-77.
15. Robert, J.M., Djeziri, S., Audet, M., Plamondon, R. Scriptot: a Pen-Based Software to Support Handwriting Learning in Primary Schools. Rap. Tech., ÉPTM, Montréal, 1999, 12 pp.
16. Ridé Y., TIC et éducation: l'apprentissage de l'écriture, Conf'lunch - Inria-Rennes - 2 juillet 2010, http://videos.rennes.inria.fr/confLunch/yvan-ride/Evodia-ConfLunch20-TIC-Ecriture.pdf
17. Viviani, P. *Les habiletés motrices*. In Traité de Psychologie Expérimentale 1, PUF. Paris, 1994, 778-857.
18. Zesiger, P., Deonna, T., & Mayor, C. L'acquisition de l'écriture. *Enfance*, (Tome 53), 3 (2000), 295-304.
19. Zesiger, P. Ecrire: approches cognitive, neuropsychologique et développementale, PUF, Paris, 1995.
20. O'Reilly, C., & Plamondon, R. (2009)A. Development of a Sigma-Lognormal representation for on-line signatures. Pattern Recognition, 42(12), 3324-3337.
21. O'Reilly, C., Plamondon, R., Lebrun, L.-H., Clément, B., & Mathieu, P. A., B.Sigma-Lognormal Analysis of a Complex Movements Neuromuscular Test. In Proc *IGS'09*, (2009), France, 48-51.
22. Plamondon, R., Djioua, M., & O'Reilly, C. La Théorie Cinématique des mouvements humains rapides: développements récents. *Traitement du Signal*, 26(5), (2009), 377-394
23. Plamondon, R. et al. The Lognormal Hand Writer: learning, performing and declining. *Frontiers in Psychology*, 945(4), (2013), 1-14, http://www.frontiersin.org/Cognitive_Science/10.3389/fpsyg.2013.00945/full